

**УДК 621.314**

**В. Г. Ягуп**, докт. техн. наук,

**К. Я. Ивакина**, асп.

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

**Я. В. Щербак**, докт. техн. наук,

**Е. В. Ягуп**, канд. техн. наук

*Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта*

## **ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ СИСТЕМА ПИТАНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ ВАГОНА ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА**

Системы питания освещения электротранспорта могут включать в себя в качестве источников электроэнергии аккумуляторные батареи, подвесные динамомашинны, приводимые во вращение с помощью механических передач от осей колесных пар.

На электротранспорте находят применение специальные генераторы управления и подзарядки аккумуляторов. Они работают в длительном режиме. Параметры их режима колеблются в широком диапазоне и зависят от режима ведения поезда и нагрузки, которая также может изменяться в широких пределах. С увеличением мощностей электроподвижного состава снижаются надежность и коэффициент полезного действия таких систем. В частности, это обусловлено напряжениями контакта в блок-контактах, межэлектроводных соединениях.

Указанные обстоятельства вынуждают искать иные способы обеспечения питания осветительных систем электротранспорта. В частности, перспективным является применение полупроводниковых преобразователей электрической энергии [2]. Внедрение полупроводниковых преобразователей в системы городского электротранспорта требует детального учета всех особенностей работы таких устройств при питании их от высоковольтной контактной сети. Компьютерное моделирование позволяет во многом помочь разработчику в создании и отладке полупроводниковых систем преобразования электроэнергии, весьма чувствительных к различного рода перенапряжениям и токовым перегрузкам.

Целью статьи является разработка компьютерной модели преобразователя для питания системы освещения вагона городского электротранспорта, снабженного системой автоматического регулирования, стабилизирующей работу преобразователя в крайне тяжелых условиях систем электроснабжения посредством контактной сети.

На рис. 1. представлена схема преобразователя для питания системы освещения вагона. Питающее напряжение поступает от контактной сети. В качестве силовых коммутаторов, обеспечивающих потребление энергии от контактной сети, используются двухоперационные тиристоры T1 и T2.

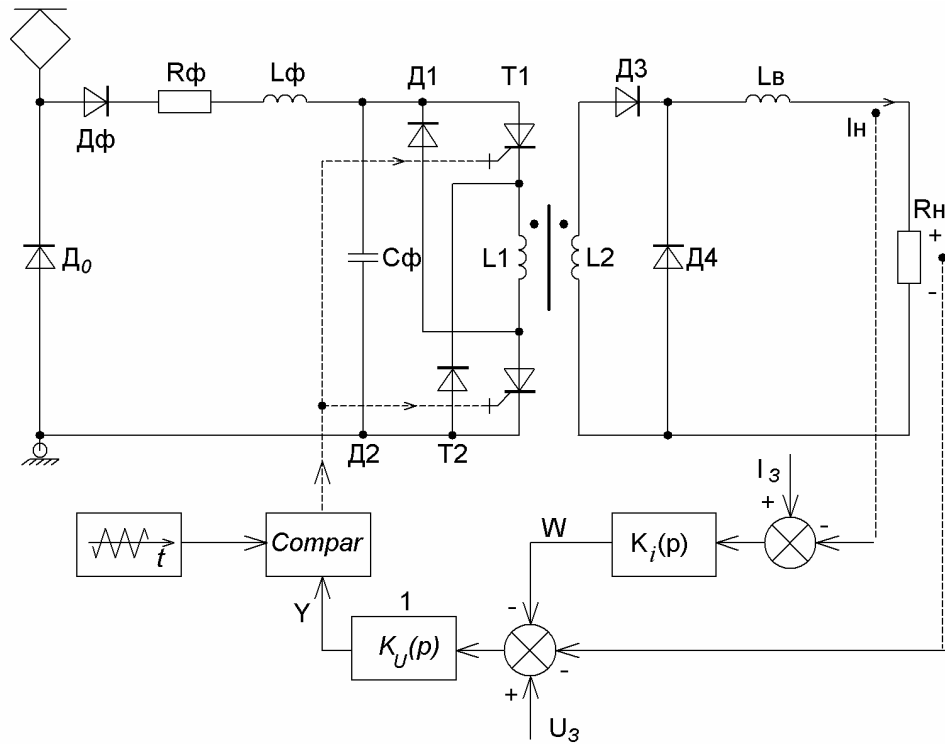


Рис. 1

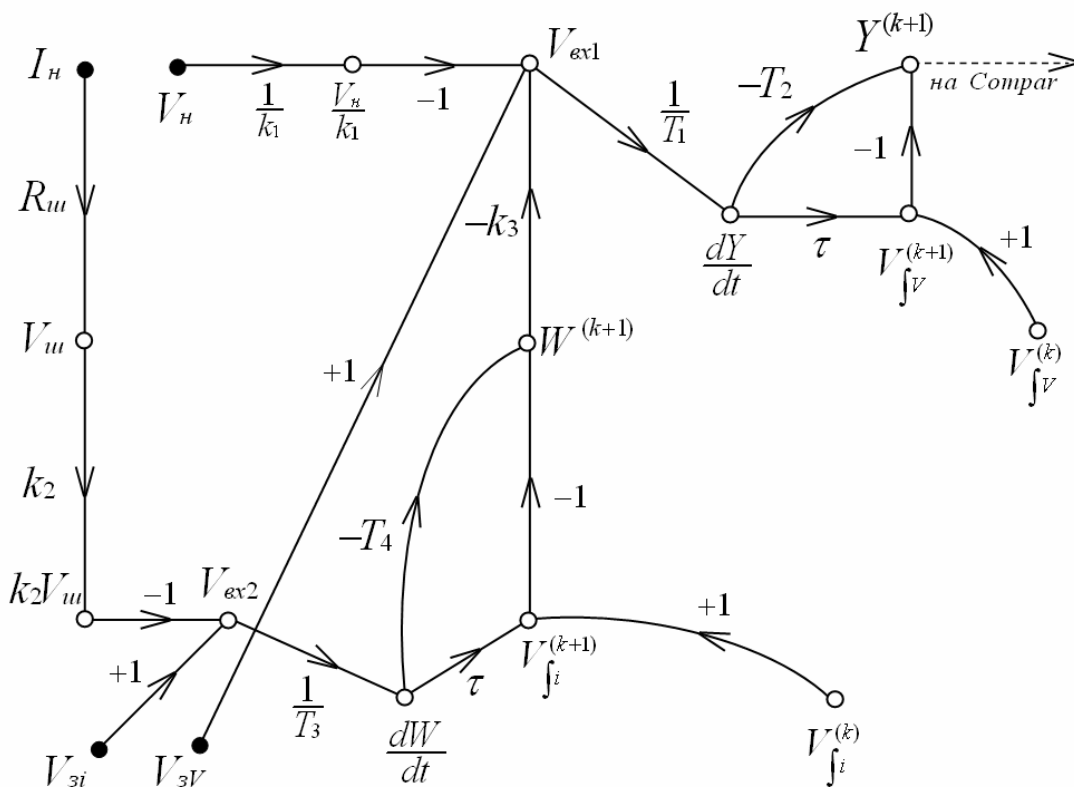


Рис. 2

При их отпирании к первичной обмотке трансформатора прикладывается напряжение фильтрового конденсатора  $C_{\phi}$ , а напряжение вторичной обмотки отпирает диод Д3, через который на нагрузку поступает напряжение. При запираии тиристоров

T1 и T2 отпираются диоды D1 и D2, благодаря чему размагничивается сердечник трансформатора. Диод D3 при этом запирается, а непрерывность тока нагрузки обеспечивается благодаря выходному индуктивному фильтру, ток которого замыкается через обратный диод D4.

Система управления содержит два контура управления – по выходному току и выходному напряжению. Выходной ток снимается датчиком тока, сравнивается с сигналом задания тока  $I$  и далее обрабатывается пропорционально-интегральным звеном с передаточной функцией  $K(p)$ , и далее поступает на узел сравнения с напряжением заданий  $U_3$ .

Полученный в результате сравнения сигнал обрабатывается вторым пропорционально-интегральным звеном и сравнивается с опорным треугольным напряжением. Тиристоры отпираются и находятся в открытом состоянии в течение времени, когда опорное напряжение превосходит сигнал  $Y$  выходы второго интегратора  $Z$ . Динамические процессы в системе управления отражает дискретно-временной сигнальный граф [3], изображенный на рис. 2. В нем исходные сигналы датчиков представлены узлами –источниками  $I_n$  и  $V_n$ , сигналы задания тока и напряжения – узлами  $V_{zi}$  и  $V_{zv}$  соответственно. По каналу напряжения интегратор представлен подграфом с ветвями  $(\frac{1}{T_1})$  и  $(-T_2)$ , а по каналу тока – с ветвями  $(\frac{1}{T_3})$  и  $(-T_4)$ . Соответственно узлы –источники отражают начальные значения интегралов, запоминаемые ими в процессе работы системы, причем для учета реальных условий следует ввести ограничения этих значений, соответствующих ограничениям выходного напряжения в операционных усилителях.

Исследование процессов в преобразователе проводилось на компьютерной модели преобразователя, реализованной в программном пакете системы имитационного моделирования тиристорных преобразователей СИМПАТ [3]. Эта система в качестве устойчивой процедуры интегрирования дифференциальных уравнений использует дискретные временные графы, и изображенный на рис. 2. граф системы управления легко интегрируется в пакет программ.

В системе СИМПАТ предусмотрены вычислительные процедуры, которые обеспечивают по входной информации о топологии и параметрах системы автоматическое формирование дерева ориентированного графа преобразователя, причем структура силовой схемы может быть совершенно произвольной. При формировании дерева все его ребра разделяются на ветви и связи. Тиристоры и диоды рассматриваются как идеальные ключи, и в графе открытые вентили относятся к числу ветвей, а закрытые – к числу связей. Каждая связь образует свой особый контур, и совокупность всех особых контуров позволяет сформировать топологическую матрицу, с помощью которой отображаются топологические уравнения для систем особых контуров и сечений.

Полученные таким образом уравнения представляются в виде сигнального графа, представленного в форме так называемого основного графа [6]. Для получения графов отдельных состояний используется процедура инверсии контуров в сигнальном графе, что позволяет сократить затраты компьютерного времени на переформирование систем уравнений при изменении состояний вентильных элементов. Полученные таким образом операторные сигнальные графы легко преобразуются в дискретно-временные графы. Для этого достаточно умножить изображения источников на оператор  $p$ , а в ветвях компонентных уравнений реактивных элементов произвести замену этого оператора на величину, обратную временной выборке. Полученные дискретно- временные сигнальные графы приводят к использованию рекуррентных формул для моделирования динамических процессов, обладающих абсолютной

устойчивостью вычислительного процесса независимо от величины временной выборке. Это свойство оказывается весьма важным, поскольку для преобразовательных схем весьма злободневной оказывается проблема преодоления жесткости систем дифференциальных уравнений, формируемых, например, по классическому варианту метода переменных состояния [6].

Таким образом и силовая схема преобразователя, и его система управления в вычислительном плане представляются рекуррентными устойчивыми формулами, что обеспечивает не только надежную работу модели, но и ее чрезвычайное высокое быстродействие.

Моделирование процессов осуществлялось при следующих нормированных параметрах:  $C1 = 0.08$ ,  $R1 = 1$ ,  $R2 = 0.2$ , индуктивность входного фильтра  $L_f = 12.8$ , а выходного –  $L_v = 0.8$ . Индуктивности обмоток трансформатора  $L1 = 10$ ,  $L2 = 0.8$ . Напряжение контактной сети  $E1 = 800$ .

**Выводы.** Разработана надежная и быстродействующая модель преобразователя для питания системы освещения вагона городского электротранспорта, использующая аппарат дискретно-временных сигнальных графов. Моделирование показало адекватную работу модели в сравнении с опытным образцом преобразователя, и позволило выбрать оптимальные параметры преобразователя.

#### Литература:

1. Железнодорожная энциклопедия под ред. А. И. О'Рурк – М-1, "Гудок", 1926.
2. Энергетическая электроника: Справочное пособие / под ред. В. А. Лабунцова. – М.: Энергоатомиздат, 1987, –464 с.
3. Ягуп В. Г. Автоматизированный расчет тиристорных схем. – Х.: Вища школа, 1986, – 160 с.
4. Ягуп В. Г., Васильев В. А., Ягуп. Е. В. Представление элементов систем автоматического регулирования при компьютерном моделировании тиристорных преобразователей. – Вестник науки и техники: ун-та "ХПИ", №7, 2002, т. 2, – с. 76 – 83.
5. Мэзон С., Циммерман Г. Электронные цепи, сигналы и системы. –М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – 620 с.
6. Стрейц В. Метод пространства состояния в теории дискретных линейных систем управления. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 296 с.

## НАПІВПРОВІДНИКОВА СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ ОСВІТЛЕННЯ ВАГОНА ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

В. Г. Ягуп, К. Я. Івакіна, Я. В. Щербак, Е. В. Ягуп

*Розглянута схема тиристорного перетворювача для системи освітлення вагону електротранспорту з живленням від тягової контактної мережі. Проведено моделювання електромагнітних процесів за допомогою пакету прикладних програм SIMPAT з урахуванням системи автоматичного управління замкнутого типу.*

## SEMICONDUCTIVE SUPPLY SYSTEM FOR ILLUMINATION OF COACH OF ELECTRIC TRANSPORT

V. G. Yagup, K. Ya. Ivakina, Ya. V. Scsherbak, K. V. Yagup

*The scheme of thyristor inverter for the system of illumination of coach of electric transport with a feed from a traction contact system is considered. The simulation of electromagnetic processes is carried out by an application of SIMPAT package taking into account the system of automatic control of the closed type.*